



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 55 690 A 1**

⑤⑦ Int. Cl.⁷:
G 06 T 17/00

⑳ Aktenzeichen: 199 55 690.3
㉔ Anmeldetag: 19. 11. 1999
㉕ Offenlegungstag: 15. 6. 2000

DE 199 55 690 A 1

③① Unionspriorität:
200515 25. 11. 1998 US

㉑ Anmelder:
Siemens Corp. Research, Inc., Princeton, N.J., US

㉒ Vertreter:
Patentanwälte Westphal, Mussnug & Partner,
78048 Villingen-Schwenningen

㉓ Erfinder:
Krishnan, Arun, Plainsboro, N.J., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ System und Verfahren zur auf einer Volumendarstellung basierenden Segmentation

⑤⑦ Ein dreidimensionales (3-D) Bildsystem und ein Verfahren umfaßt einen Prozessor zum Erzeugen eines Volumendarstellenden 3-D-Bildes auf einem Display unter Anwendung einer Mehrzahl von Voxeln auf einem 3-D-Bilddatensatz, sowie einen Sichtselektor, der auf Benutzereingaben zum Bestimmen eines ersten Satzes von Voxeln anspricht, die mit einer Grenze in dem Volumendarstellenden 3-D-Bild korrespondieren, unter Anwendung eines vorbestimmten grenzspezifizierenden Kriteriums, das auf eine Funktion der Opazität der Mehrzahl von Voxeln angewendet wird. Der Prozessor antwortet auf den ersten Satz und eine Benutzer-Funktionsauswahl durch Ausführen der gewählten Funktion zur Modifikation des Volumendarstellenden 3-D-Bildes relativ zu den erfaßten Grenzen. Die gewählte Funktion ist eine Anzeigefunktion, eine Meßfunktion oder eine Segmentierungsfunktion. Der Sichtselektor bestimmt die Grenze aus Voxeln mit Opazitäten, die größer als ein vorbestimmter Schwellwert sind, oder aus Voxeln, die einen Gradient der Opazitäten aufweisen, der größer als ein vorbestimmter Schwellwert ist. Alternativ dazu bestimmt der Sichtselektor die Grenze aus Voxeln, die einen größten Beitrag zu einer Gesamtintensität leisten, die eine Funktion der Opazitäten der Voxel ist, oder aus Voxeln, die entsprechende Beiträge aufweisen, die größer als ein vorbestimmter Schwellwert sind, wobei solche Beiträge einen Beitrag zu einer Gesamtintensität leisten, die eine Funktion der Opazität der Voxel ist.

Best Available Copy

DE 199 55 690 A 1

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

Die Erfindung betrifft dreidimensionale Grafiken und insbesondere ein System und ein Verfahren zur Kombination einer Volumenerzeugung mit einer Segmentation bei der Erzeugung von dreidimensionalen Grafiken.

Bei der dreidimensionalen (3D) Bilderzeugung wird eine Segmentation angewendet, bei der es sich um ein Verfahren zum Identifizieren, Skizzieren und/oder Demarkieren von interessierenden Volumina aus einem 3D-Volumen-Datensatz handelt. Die interessierenden Volumina bei einer medizinischen 3D-Anwendung, wie zum Beispiel einer tomografischen Analyse, sind im allgemeinen Organe. Die Segmentation kann für Messungen von zum Beispiel des Durchmessers eines Blutgefäßes oder anderer rohrförmiger Gewebe eines Patienten dienen. Zusätzlich kann die Segmentation zur Navigation durch einen Raum, einschließlich eines virtuellen Raums dienen, wobei die Grenzbereiche eines segmentierten Organs zur automatischen Navigation verwendet werden. Mit der Segmentation kann eine Visualisierung von Organen durchgeführt werden, bei der die segmentierten Organe in Flächenmodelle umgesetzt werden, die unter Anwendung eines grafischen Computers und/oder einer Software mit einer hohen Bildrate erzeugt werden können.

Eine Segmentation kann unter Anwendung verschiedener Verfahren durchgeführt werden, wie zum Beispiel einer einfachen Anwendung von Schwellwerten auf das gesamte Volumen des 3D-Bildes, um zum Beispiel Knochen zu segmentieren. Weiterhin können auch adaptive Schwellwerte verwendet werden, um ein "Bluten" eines Teils des 3D-Bildes in einen anderen Teil zu verhindern. Zusätzlich können in jeden Schnitt des abgebildeten Objektes, wie zum Beispiel eines Organs, Konturen eingezeichnet werden. Solche Segmente werden dann zur Betrachtung für einen Benutzer wiedergegeben.

Eine Volumendarstellung bzw. Volumenerzeugung wird auch bei einer 3D-Bilderzeugung vorgenommen, bei der Intensitätswerte von Voxeln von 3D-Bildern unter Anwendung einer bestimmten Abbildung (Mapping) in Opazitätswerte konvertiert werden. Andere mögliche Abbildungen umfassen die Abbildung der Intensität auf die Opazität (plus Farbe) sowie des Intensitätsgradienten auf die Opazität. Die Opazitätswerte werden dann verwendet, um das gesamte Volumen oder einen Teil davon auf einem Anzeigeschirm wiederzugeben. Jedes Bildpixel ist dabei einem bestimmten Wert zugeordnet, der von der Opazität aller Voxel abhängig ist, die auf das entsprechende Bildpixel projiziert werden. Ein Benutzer stellt im allgemeinen die Abbildung der Intensität auf die Opazität so ein, daß z. B. Merkmale verstärkt werden, und/oder der Benutzer kann den Standort und/oder die Sichtrichtung so ändern, daß sich das wiedergegebene Bild ändert, wodurch es erforderlich sein kann, das 3D-Bild neu zu zeichnen und die Intensität und die Opazitätswerte zu aktualisieren.

Es ist bekannt, daß eine Visualisierung und Segmentierung von 3D-Bildern kombiniert werden kann, um es einem Benutzer zu ermöglichen, die Segmentation interaktiv zu betrachten und das Segmentationsverfahren interaktiv zu führen. Bei solchen Kombinationen wird eine Segmentation unter Verwendung globaler Schwellwerte und eine Visualisierung unter Verwendung von Oberflächen-Leuchtanzeigen angewendet.

Bisher konnte die Volumendarstellung und die Segmentation nicht in besonders wirksamer Weise kombiniert werden, da bei der Volumendarstellung Funktionen oder Werkzeuge wie Messungen, automatische Navigation usw. über

ein 3D-Bild nicht zur Verfügung standen, während die bekannten, Flächen darstellenden Verfahren unter Anwendung von vorsegmentierten Daten solche Funktionen oder Werkzeuge ausführen können.

Folglich besteht ein Bedarf nach einem Volumen erzeugenden bzw. darstellenden System und einem Verfahren, bei dem solche Funktionen wie Messungen und automatische Navigation zur Verfügung stehen.

Zusammenfassung der Erfindung

Ein dreidimensionales (3D) Bildsystem und ein Verfahren umfaßt einen Prozessor zum Erzeugen eines Volumen darstellenden 3D-Bildes auf einem Display unter Anwendung einer Mehrzahl von Voxeln aus einem 3D-Bild-Datensatz; sowie einem Sichtselektor, der auf Benutzereingaben anspricht, zum Bestimmen eines ersten Satzes von Voxeln, die mit einer Grenze in dem Volumen darstellenden 3D-Bild korrespondieren, unter Verwendung eines vorbestimmten Grenzspezifizierenden Kriteriums, das auf eine Funktion der Opazität der Mehrzahl von Voxeln angewendet wird. Der Prozessor antwortet auf einen ersten Satz und auf eine Benutzer-Funktionsauswahl durch Ausführen der gewählten Funktion zur Modifikation des Volumen darstellenden 3D-Bildes relativ zu den erfaßten Grenzen. Die gewählte Funktion ist eine Displayfunktion, eine Meßfunktion oder eine Segmentierungsfunktion. Der Sichtselektor bestimmt die Grenze aus Voxeln, die eine größere Opazität aufweisen, als ein vorbestimmter Schwellwert, oder er bestimmt die Grenze aus Voxeln, bei denen ein Gradient der Opazitäten größer ist, als ein vorbestimmter Schwellwert. Alternativ dazu bestimmt der Sichtselektor die Grenze aus Voxeln, die einen größten Beitrag zu einer Gesamtintensität leisten, die eine Funktion der Opazitäten der Voxel ist, oder er bestimmt die Grenze aus Voxeln, die entsprechende Beiträge aufweisen, die größer sind als ein vorbestimmter Schwellwert, wobei solche Beiträge zu einer Gesamtintensität beitragen, die eine Funktion der Opazitäten der Voxel ist.

Das beschriebene System ermöglicht es einem Benutzer, die Opazitäts-Abbildungen unter Verwendung von Trapezoiden, Schiebern usw., die zur Segmentierung des Volumens verwendet werden, zu manipulieren. Das System nutzt die Tatsache aus, daß in dem Fall, in dem ein Benutzer Parameter verändert, um einen bestimmten Bereich hervorzuheben, diese Parameter ausreichen, um automatisch zu bestimmen, auf welche 3D-Punkte der Benutzer gerade blickt. Es ist auch möglich, das interessierende Volumen zum Beispiel durch Verwendung von Schnittebenen oder anderen bekannten, einen Volumenbereich selektierenden Verfahren zu begrenzen, wobei dann das beschriebene System auf ein solches begrenztes Volumen angewendet wird.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 zeigt ein 3D-Grafiksystem gemäß den Grundsätzen der Erfindung;

Fig. 2 zeigt eine grafische Benutzerschnittstelle für das 3D-Grafiksystem nach Fig. 1;

Fig. 3 zeigt ein Flußdiagramm eines Verfahrens zum Betrieb des 3D-Grafiksystems;

Fig. 4 zeigt eine Abbildung von Voxeln mit Opazitätswerten gemäß einem ersten Gesichtspunkt der Erfindung; und

Fig. 5 zeigt ein Volumen darstellendes Bild mit Punkten, die zur Ausführung von Funktionen an dem Volumen darstellenden Bild ausgewählt sind.

Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform

Gemäß Fig. 1 wird ein Sicht-Selektionssystem 10 und ein Verfahren gemäß der Erfindung bei einer auf einer Volumendarstellung basierenden Segmentation zum Steuern der Opazitätswerte während der Volumendarstellung und der Segmentation bei der Visualisierung von dreidimensionalen (3D) Bildern verwendet. Der Sicht-Selektor 10 ist mit einem 3D Grafikgenerator 12 eines 3D Grafiksystems 14 mit einem Prozessor 16 verbunden. Der 3D Grafikgenerator 12 wirkt mit dem Prozessor 16 zum Beispiel über eine Taskkarte 18 oder andere Funktionen oder Unterprogramme zusammen, um 3D Bilder zu erzeugen und auf einem Schirm oder einer anderen Ausgabeeinrichtung, zum Beispiel einer 2D-Darstellung des 3D Bildes, wiederzugeben. Alternativ dazu kann es einem Benutzer ermöglicht werden, durch eine 3D Abbildung unter Anwendung von zum Beispiel stereografischen Verfahren wie 3D volumetrischen Wiedergaben und Brillen, wie 3D Brillen, ein 3D Bild auf einem im wesentlichen zweidimensionalen Bildschirm zu betrachten. Der Prozessor 16 arbeitet mit einem Bildsymbolgenerator 20 zusammen, der eine Sammlung von Software-Objekten zur Darstellung von Bildsymbolen auf einem Ausgabeschirm darstellen kann, die für den Benutzer des 3D Grafiksystems 14 leicht verständlich sind.

Der Prozessor 16 umfaßt auch eine Einrichtungs-Schnittstelle 22, einen Manager 24 für eine grafische Benutzer-Schnittstelle (GUI) und eine Anwendungsprogramm-Schnittstelle (API) 26, wobei diese Komponenten 22 bis 26 mit einem Schnittstellen-Server 28 verbunden sind, um mit anderen Systemen 30 zusammenzuwirken, wie dem Internet für Fernverbindungen; einem Hardcopy-Server (HcS) 32 zum Senden von Ausgabedaten zu einem Bildgerät oder Drucker 34 für Hardcopy-Ausgaben; einem Datenbank-Server (DbS) 36 zum Speichern von Daten zum Beispiel in einem Online-Speicher 38, einem Verarbeitungs-Server (PrS) 40 zum Speichern von Daten in dem Speicher 42 des Prozessors 16 oder anderen zentralen Prozessoreinheiten (CPUs); sowie einem Benutzer-Schnittstellen (UI)-Server 44, der zum Beispiel unter Verwendung der Version 11 (X11) des X WINDOWS Protokolls mit mindestens einer Eingabe- und/oder Ausgabe- (I/O) Einrichtung 46 wie einem Bildschirm, einer Tastatur und/oder einer Maus zusammenwirkt.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist der 3D Grafikgenerator 12 durch die "Fly Through"-Software der Firma Siemens Medical Systems Inc., Iselin, New Jersey, realisiert, die auf einer Workstation als 3D Grafiksystem 14 läuft, wie zum Beispiel der "Prominence"-Workstation von der Firma Siemens Medical Systems Inc., Iselin, New Jersey, vertrieben wird, die eine weiterentwickelte Workstation zur medizinischen Bilderzeugung und Nachbearbeitung ist, die von der Firma ISG Technologies, Kanada, hergestellt wird. Die GUI zur Anwendung der "Fly Through"-Software kann auf einer Sienet Magicview CT/MR Satellitenkonsole der Firma Siemens Corporation implementiert werden, um als I/O-Einrichtung 46 zu arbeiten. Alternativ dazu kann als 3D Grafiksystem 14 auch das in der US-PS 5.782.762 von Vining und/oder der US-PS 5.825.909 von Jang beschriebene Grafiksystem verwendet werden, wobei diese Druckschriften durch Bezugsname zum Bestandteil dieser Offenbarung gemacht werden sollen.

Bei einer medizinischen 3D-Bilderzeugung kann der Bildsymbol-Generator 20 eine Meta 4 Sammlung von Programmobjekten sein, die metaphorisch medizinische Bildsymbole auf dem UI der I/O-Einrichtung 46 darstellen, die für einen Benutzer einfach verständlich sind. Die Einrich-

tungs-Schnittstelle 22 kann ein Satz von "Digital Imaging and Communications in Medicine" (DICOM)-Kommunikations-Schnittstellenobjekten sein, während der Schnittstellen-Server 28 ein DICOMbasierender Server sein kann, der mit medizinischen Systemen 30 wie computergestützten Tomographie-Abtasteinrichtungen (CAT) und Röntgenstrahlengeräten zusammenwirkt. Ferner kann der GUI-Manager 24 der MOTIF-Manager für X Windows und die API 26 der Open Graphics Library (OpenGL) - Standard Grafik-API sein.

Der 3D Grafikgenerator 12 kann ein Segmentierungsmodul, ein Modellbildungsmodul und ein interaktives Anzeigemodul umfassen. Mit dem Segmentierungsmodul werden verschiedene interessierende Organe heraussegmentiert und ein segmentierter Volumen-Datensatz erzeugt. Das Modellbildungsmodul konvertiert den segmentierten Volumen-Datensatz in einen Satz von segmentierten polyhedralen Modellen, die eine Echtzeit-Wiedergabe mit dem interaktiven Anzeigemodul ermöglichen. Durch die GUI der I/O-Einrichtung 46 kann dem Benutzer ein Schirm mit drei verschiedenen Ansichtsfenstern 48-52, die in Fig. 2 gezeigt sind, sowie ein Bereich 54 des Schirms geboten werden, auf dem ein Steuerpanel aus wählbaren Tasks und scrollbaren Taskleisten dargestellt ist. Wenn eine endoskopische medizinische Anwendung eingesetzt wird, zeigt ein globales Darstellungsfenster 48 die verschiedenen 3D segmentierten Organmodelle sowie eine Darstellung des Endoskops, die durch Computer-Tomographie oder Magnetresonanz-Abtastung eines Patienten erzeugt werden kann. Ein Endoskop-Sichtfenster 50 zeigt eine 3D simulierte Ansicht des segmentierten Organmodells von der Spitze des Endoskops aus innerhalb des Organs des Patienten. Das Korrelations-Sichtfenster 52 zeigt eine multiplanare Rekonstruktionsebene, die durch die Position der Spitze des Endoskops verläuft, oder es zeigt das originale Patientenbild, das mit dem Endoskop zu korrelieren ist.

Wie in Fig. 1 gezeigt ist, kann die I/O-Einrichtung 46 zum Empfang von Benutzer-Eingaben optional mit dem Sicht-Selektor 10 verbunden sein, mit dem die Auswahl und Ausrichtung der Ansichten gesteuert wird, wenn der Benutzer auf die Fenster 48-52 schaut, um durch die in den Fenstern 48 bis 52 gezeigten 3D Bilder zu navigieren.

Das Sicht-Selektorsystem 10 kann Hardware und/oder Software sein und kann als Unterprogramm in dem 3D Grafikgenerator 12 oder außerhalb des Grafiksystems 14 realisiert sein. Das Sicht-Selektorsystem 10 kann zum Beispiel eine getrennte Workstation, die mit dem 3D Grafikgenerator 12 verbunden ist, oder ein PC sein, der über ein Netzwerk, wie zum Beispiel das Internet, mit dem 3D Grafikgenerator 12 verbunden ist.

Das Sicht-Selektorsystem 10 arbeitet in Verbindung mit dem 3D Grafikgenerator 12 unter Anwendung des in Fig. 3 gezeigten Verfahrens. Dem 3D Grafikgenerator 12 werden in Schritt 56 über die GUI der I/O-Einrichtung 46, wie die in Fig. 2 gezeigten Fenster 48 bis 54 oder alternativ dazu über das Sicht-Selektorsystem 10, Benutzereingaben zugeführt, um den Standpunkt (Sichtpunkt) zu wählen. Mit einem Schritt 58 erzeugt der 3D Grafikgenerator 12 dann eine Volumendarstellung von dem gewählten Standpunkt aus. Zu diesem Zweck kann auch der Prozessor 16 entsprechend angesteuert werden. Nachdem zum Beispiel ein Benutzer einen GUI-Cursor, wie einen durch eine Maus betätigten Pfeil, auf eine bestimmte Stelle auf der GUI, wie zum Beispiel das Fenster 50, gesetzt hat, antwortet der 3D Grafikgenerator 12 durch Modifikation der Volumendarstellung, um eine Anpassung an den gewählten Standpunkt vorzunehmen.

Das Sicht-Selektorsystem 10 empfängt dann in Schritt 60

Voxelwerte sowie korrespondierende Opazitätswerte der in Schritt 58 erzeugten Volumendarstellung für einen durch den Benutzer ausgewählten Punkt in der Volumendarstellung, und zwar gemäß einer mit Bezug auf Fig. 4 beschriebenen Abbildung. Das Sicht-Selektorsystem 10 bestimmt in Schritt 62 das eventuelle Vorhandensein einer Grenze aus den Opazitätswerten für den gewählten Punkt und führt dann in Schritt 64 in Abhängigkeit von zusätzlichen Benutzereingaben oder Selektionen auf der Basis der aus den Opazitätswerten im Schritt 62 bestimmten Grenze eine ausgewählte Funktion aus. Schritt 64 kann zum Beispiel eine oder mehrere Funktionen wie Navigation 66, Messung 68, Segmentierung 70 und Registrierung 71 umfassen.

Gemäß Fig. 4 erhält das Sicht-Selektorsystem 10 in Schritt 60 Voxelwerte und korrespondierende Opazitätswerte auf der Basis einer Abb. 72 eines Sichtvolumens 74 auf einen Satz 76 von Opazitätswerten, die mit Voxelwerten indexiert sind. Das Sichtvolumen 74 aus einer perspektivischen Projektion wird aus der Sichtrichtung 78 bestimmt, die mit dem Standpunkt eines Auges 80 korrespondiert, das heißt der Perspektive, die bei der Erzeugung des 3D Bildes durch den 3D Grafikgenerator 12 gewählt wird, wie zum Beispiel der endoskopischen Perspektive eines rohrförmigen Durchgangs in dem Fenster 50 in Fig. 2. Ein aufgenommener Punkt, wie zum Beispiel der Punkt 82, wird durch den Benutzer innerhalb des Sichtvolumens 74 spezifiziert, und zwar durch Reaktion auf die Bewegung der Cursorposition durch den Benutzer unter Verwendung der GUI oder anderer Eingaben, die von dem Sicht-Selektorsystem 10 erhalten werden.

Der Satz 84 von Voxeln entlang des Strahls 86 von dem Auge 80 zu dem aufgenommenen Punkt 82 wird ermittelt, und die korrespondierenden Opazitätswerte des Satzes 84 von Voxeln werden auf den Satz 76 von Opazitätswerten abgebildet, die in einem Register oder einer anderen Speicherposition in einem Speicher des Sicht-Selektors 10 und/oder des 3D Bildsystems 14 gespeichert sind. Der aufgenommene Punkt kann jeder Punkt entlang des Strahls 86 von dem Auge 80 sein. Folglich kann der aufgenommene Punkt zum Beispiel der an dem Punkt 82 in Fig. 4 gezeigte Voxel sein. Die Voxel entlang des Strahls 86 und innerhalb des Sichtvolumens 74 können mit den Werten 1 bis N indexiert sein, wobei der Voxel 1 näher an dem Betrachter an der Position 80 des Auges liegt und der Voxel N am entferntesten ist. Jeder Voxel i , $i = 1, \dots, N$ ist einer Intensität I_i und einer Opazität α_i zugeordnet bzw. mit diesen verbunden.

Das Sicht-Selektorsystem 10 bestimmt dann in Schritt 62 das Vorhandensein einer Grenze entlang des Strahls 86 zu dem aufgenommenen Punkt 82, da die Opazitäts-Abbildung 72 und die Voxelwerte genug Informationen zur Verfügung stellen, um den Ort einer Grenze gemäß vorbestimmten Grenzkriterien zu bestimmen. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Grenze b_1 der Voxel, der an dem nächsten Voxel entlang des Strahls 86 liegt, bei dem die Opazität einen vorbestimmten Opazitäts-Schwellwert T , wie zum Beispiel 0,9 auf einer Skala von 0 bis 1 übersteigt, wobei 0 einer Transparenz oder keiner Opazität und 1 einer vollständigen Undurchlässigkeit entspricht. Für die Grenze b_1 ergibt sich somit folgende Gleichung:

$$b_1 = v_j \text{ wobei } j = \min k, \forall \alpha_k > T; k = 1, \dots, N. \quad (1)$$

Bei einer zweiten Ausführungsform kann die Grenze so bestimmt werden, daß sie an einer Stelle liegt, an der der Gradient der Opazität zwischen aufeinanderfolgenden Voxeln größer ist, als ein vorbestimmter Gradienten-Schwellwert G , so daß gilt:

$$b_2 = v_j \text{ so daß } |\alpha_j - \alpha_{j-1}| > G; j = 1, \dots, N. \quad (2)$$

oder alternativ dazu das Minimum j , das die obige Bedingung für den Gradienten-Schwellwert erfüllt, die Grenze an dem Voxel v_j bestimmt.

Bei der dritten Ausführungsform beträgt die letzte Intensität des Volumen darstellenden Bildes, das an der Position 80 des Auges beobachtet wird:

$$I_{out} = \alpha_1 \times I_1 + (1 - \alpha_1) \times \alpha_2 \times I_2 + (1 - \alpha_1) \times (1 - \alpha_2) \times \alpha_3 \times I_3 + \dots + (1 - \alpha_1) \times (1 - \alpha_2) \times \dots \times (1 - \alpha_{N-1}) \times \alpha_N \times I_N \quad (3)$$

wobei der i^{TH} Beitrag C_i zu der gesamten Ausgangsintensität I_{out} lautet:

$$C_i = \alpha_i \times I_i \times [Y + 131]_{j=1}^i (1 - \alpha_j) \quad (4)$$

Die Grenze b_3 kann so bestimmt werden, daß sie der Voxel mit dem größten Beitrag zu I_{out} ist, der wie folgt bestimmt werden kann:

$$b_3 = v_j \text{ so daß } C_i = \max C_k; k = 1, \dots, N. \quad (5)$$

Bei der vierten Ausführungsform ist die Grenze b_4 so gelegt, daß sie der Voxel ist, der am nächsten zu der Augenposition 80 liegt, so daß der in den Gleichungen (4) und (5) addierte Term C_i größer ist, als ein Schwellwert W , das heißt:

$$b_4 = v_j \text{ so daß } j = \min k, \forall C_k > W; k = 1, \dots, N. \quad (6)$$

Bei der fünften Ausführungsform ist die Grenze b_5 so gelegt, daß sie der Voxel ist, der am nächsten zu der Augenposition 80 liegt, so daß die Summe der Opazitäten der Voxel von der Augenposition 80 zu der Grenze größer ist, als ein Schwellwert V ; das heißt:

$$b_5 = v_j \text{ so daß } j = \min k (\sum_{m=1}^k \alpha_m) > V; k = 1, \dots, N \quad (7)$$

Alle diese Grenzbedingungen oder Kombinationen davon können verwendet werden, um die Grenze in Schritt 623 gemäß Fig. 3 zu bestimmen, die dann mit der Oberfläche von zum Beispiel einem Körperorgan korrespondiert, das in dem volumenabgeleiteten Bild simuliert ist. Solche Grenzbedingungen können dann für weitere Verarbeitungen durch den Benutzer in den 3D Grafikgenerator 12, wie einen "Fly Through" eingegeben werden.

Unter Anwendung des Sicht-Selektorsystems 10 kann der Benutzer dann in Schritt 64 mit den Volumen darstellenden 3D Bildern Funktionen oder Werkzeuge auswählen, ohne daß es unbedingt erforderlich ist, daß das 3D Bild zuvor segmentiert wird. Wie zum Beispiel in Fig. 5 gezeigt ist, kann ein Benutzer bei einem Volumen darstellenden Bild 88 einer Aorta zum Beispiel während einer Angioplastik einen ersten Punkt 92 in dem Bild 88 durch Bewegen des GUI Cursors 94 in den den Punkt 92 aufweisenden Bereich und anschließendes Klicken der Maus, wenn sich der Cursor 94 an dem gewünschten Punkt 92 befindet, auswählen.

Zur Durchführung einer Navigation in Schritt 66 gemäß Fig. 3 nimmt der Benutzer den ersten Punkt 92 und einen zweiten Punkt 96 auf, und das Sicht-Selektorsystem 10 und/oder der 3D Grafikgenerator 12 erzeugt als Antwort auf die Auswahl der Punkte 92, 96 automatisch einen Weg 98, so daß zum Beispiel das Endoskop, mit dem die "Fly Through" Software angewendet wird, zwischen den Punkten 92, 96 geführt wird, ohne daß die Daten des 3D Bildes 88 vorseg-

mentiert werden. Der Weg 98 wird auf der Basis von Opazitäts-Parametern berechnet, die der Benutzer voreinstellen oder modifizieren kann und die das Organ oder das Körpergefäß wie eine Aorta 88 definieren. Wenn sich die zwei Punkte 92, 96 innerhalb eines Körpergefäßes oder eines Durchgangs wie des Esophagus, der Aorta oder des Darms befinden, wobei die Einstellungen für die Opazität so gewählt sind, daß das Körpergefäß 88 in der 3D Wiedergabe des Körpergefäßes 88 sichtbar ist, so folgt der gewählte Weg 98 dem Körpergefäß 88 innerhalb der in Schritt 62 gemäß Fig. 3 bestimmten Grenzen. Wenn die Einstellungen der Opazitäten so gewählt sind, daß das Körpergefäß 88 unsichtbar ist, so folgt der berechnete Weg 98 nicht dem Gefäß 88, sondern ist stattdessen in einer im wesentlichen geraden Linie von dem Punkt 92 zu dem Punkt 96 gerichtet und weicht davon nur soweit ab, daß jeder undurchsichtige Bereich zwischen den Punkten 92, 96 vermieden wird.

Das Sicht-Selektorsystem 10 erlaubt gemäß Schritt 68 auch eine Messung zwischen mehrfachen Punkten 92, 96, wie zum Beispiel der geometrischen Abstände zwischen den Punkten 92, 96, den von den mehrfachen Punkten gebildeten Winkel, einen minimalen, nichtlinearen Abstand zwischen den Punkten, wenn die undurchsichtigen Bereiche zwischen den Punkten 92, 96 liegen usw.. Solche Meßverfahren sind bekannt, wobei das Sicht-Selektorsystem 10 Grenzen bestimmt, die solche Messungen beeinflussen.

Das Sicht-Selektorsystem 10 erlaubt gemäß Schritt 70 auch eine Auswahl der Segmentation, nachdem die Grenzen in Schritt 64 bestimmt worden sind. Gemäß Fig. 5 ermöglicht es das Sicht-Selektorsystem 10 nach der Bestimmung der Grenzen einem Benutzer, einen 3D Kristallisationspunkt 100 zur automatischen Segmentation aufzunehmen, um ein segmentiertes Bild 102 zum Beispiel unter Verwendung von bekannten Segmentierungsverfahren, wie sie in den zum Bestandteil dieser Offenbarung gemachten Druckschriften US-PS 5.782.762 und/oder der US-PS 5.825.909 von Jang beschrieben sind, zu erzeugen.

Zusätzlich ermöglicht das Sicht-Selektorsystem 10 in Schritt 71 eine Wahl einer Registrierung, bei der eine Mehrzahl von Datensätzen in mindestens einem Fenster auf dem Bildschirm gemäß Fig. 2 volumendargestellt ist, wobei der Benutzer die korrespondierenden Punkte auf den Volumen darstellenden Bildern aufnimmt. Die aufgenommenen Punkte erlauben es dem Benutzer dann, zwei Datensätze zu registrieren, um zum Beispiel Bilder durch Translation oder Morphieren zu modifizieren. Durch eine Registrierung wird die anatomische Kohärenz der vielfachen Datensätze sichergestellt. Eine anatomische Kohärenz bedingt, daß wenn ein Punkt P_A in einem Volumen A mit dem gleichen Bereich des Patienten korrespondiert wie ein Punkt P_B in dem Volumen B, dann die durch den Sichtselektor 10 aufrechterhaltene registrierte Abbildung zwischen A und B eine solche anatomische Kohärenz zwischen den Datensätzen beinhaltet.

Bestimmte MR-Erfassungen sind, wie zum Beispiel bei neurologischen Untersuchungen, gut registriert, da der Kopf für die Dauer der Erfassung fixiert werden kann. Eine Bewegung des Patienten kann jedoch während der Aufnahme anderer Körperteile nicht verhindert werden, wie zum Beispiel bei peripheren Untersuchungen, die eine Bewegung des Patiententisches, auf dem der Patient liegt, zwischen verschiedenen Aufnahmen erfordern. Ein Verfahren, das verwendet werden kann, ist eine automatische feste Körper-Registrierung, bei der eine feste Körper-Transformation durch den Sichtselektor 10 und/oder das grafischen System 14 durchgeführt wird, um mehrfache Untersuchungen zu registrieren (zur Anzeige zu bringen). Zum Beispiel kann eine FUSION-Taskkarte, die in den Taskkarten 18 vorhanden ist, das heißt die verfügbaren Funktionen, die durch den Grafikgenerator

12 mit dem Grafiksystem 14 verwendet werden, für diesen Zweck eingesetzt werden. Unter Verwendung einer interaktiven Selektion von korrespondierenden Punkten zwischen zwei volumetrischen Untersuchungen kann eine vollautomatische Registrierung durchgeführt werden, mit der zwei Untersuchungen auf der Basis von Pixel/Voxel-Werten angepaßt werden und so eine geeignete Ausrichtung erreicht wird. Eine solche automatische Registrierung ist für MRA-Anwendungen nützlich, da die Natur und die Pixel/Voxel-Statistiken von mehrfachen Untersuchungen einer gemeinsamen physikalischen Struktur sehr ähnlich sind. Somit kann durch einen Benutzer und/oder ein Verfahren zur automatischen Registrierungsanpassung, wie ein neurales Netzwerk oder einen Klassifizierer, zur Vorbereitung der weiteren Bildmanipulationen gemäß obiger Beschreibung eine Ausrichtung der Bilder erreicht werden.

Ein anderes einschlägiges Verfahren ist die auf einer Volumendarstellung basierende Registrierung, bei der durch die Verfügbarkeit einer interaktiven und Echtzeit-Volumenerzeugung die Möglichkeit einer festen Körper-Registrierung auf der Basis einer Visualisierung geboten wird. Unter Anwendung eines solchen Registrierungsverfahrens können für zwei Untersuchungen über die GUI gleichzeitig in einem oder mehreren Anzeigefenstern Volumendarstellungen vorgenommen werden. Der Benutzer und/oder das automatische Verfahren zur Registrierungsanpassung einschließlich neutraler Netzwerke oder Klassifizierer kann interaktiv versuchen, die Überlappung zwischen den Bildern zu maximieren. Eine Echtzeit-Volumendarstellung kann dazu dienen, eine solche interaktive Registrierung zu implementieren. Bei einer alternativen Ausführungsform können Transformationen, die einen volumetrischen Körper zur Anpassung an einen anderen deformieren, um eine automatische Verwerfungs-Registrierung durchzuführen, verwendet werden, mit denen nichtfeste Körperbewegungen kompensiert werden können.

Es können auch andere bekannte medizinische Verfahren zur Bildregistrierung verwendet werden, wie das Verfahren zur Maximierung der gegenseitigen Information (MMI) und das interaktive Verfahren des nächsten Punktes (ICP), um unter Verwendung des Sichtselektors 10 eine Anpassung und Manipulierung solcher Bilder vorzunehmen.

Bei einer anderen alternativen Ausführungsform kann ein Zusammenschluß von Visualisierungen vorgenommen werden, bei dem Visualisierungen von verschiedenen Bildern zusammengefügt werden, wodurch Änderungen, die bei den Sichtparametern in einem Bild einer zusammengeführten Gruppe von Bildern auftreten oder dort implementiert werden, automatisch auf den Rest der Bilder in der Gruppe angewendet werden. Zu den Sichtparametern gehören das Fenster, der Pegel, der Zoom-Faktor und die Nachführung (pan) bei einer 2D-Ansicht, sowie der Standort, die Kameraparameter, die Scherung (clip), die Transferfunktion usw. bei einer 3D-Ansicht, ebenso wie Filter- und andere bildtransformierende Verfahren. Eine Veränderung eines Visualisierungsparameters bei einem Bild ändert den Visualisierungsparameter der übrigen zusammengeschlossenen Bilder. Zum Beispiel kann eine Änderung der Auflösung zu dem Zweck, in einen Teil eines ersten Bildes zu zoomen, dazu führen, daß der Sichtselektor 10 die Auflösung in anderen Bildern ändert, um in einen korrespondierenden Teil der entsprechenden Bilder zu zoomen.

Bei einer anderen alternativen Ausführungsform kann ein Zusammenschluß der interaktiven Messung und des interessierenden Bereiches (ROI) erfolgen. Wenn interaktive Messungen an einem Bild einer zusammengeschlossenen Gruppe wie zum Beispiel Abstände, Flächen, Volumina, Histogramm/Intensitätseigenschaften usw. vorgenommen wer-

den, werden die gleichen Messungen auf die anderen Mitglieder der Gruppe gespiegelt. Bei Histogramm/Intensitäts-basierenden Messungen kann das Ergebnis in jedem Volumen anders sein. Eine ROI-Selektion und die Position der Zeiger oder anderer grafischer Indikatoren auf Merkmale in den Bildern werden in ähnlicher Weise zusammengefaßt.

Da Grenzen bestimmt und Punkte in dem Volumen darstellenden Bild aufgenommen werden können und dann eine Segmentation durchgeführt wird, ermöglicht es das Sicht-Selektorsystem 10 einem Benutzer, Objekte in dem Volumen darstellenden Bild zu wählen und dann, zum Beispiel durch Fading oder Unsichtbarmachung des gesamten Objektes, die Sichtbarkeit solcher Objekte zu ändern. Der Benutzer kann sich dann auf interessierende Bereiche konzentrieren, ohne Schnittebenen und Randboxen zu definieren, wie es bei bekannten Objekt-Selektionsverfahren erforderlich ist.

Auf diese segmentierten Volumina kann der Benutzer auch Farben für verschiedene Bereiche des erzeugten Bildes anwenden. Im allgemeinen ist eine spezifische Farbe mit einem spezifischen oder definierten Bereich von Intensitätswerten verbunden bzw. diesem zugeordnet, wobei solche Farbzuordnungen während der Volumenerzeugung in Schritt 58 verwendet werden. Auch wenn bei bekannten, Volumen darstellenden Verfahren verschiedene Voxel mit der gleichen Intensität nicht verschieden gefärbt werden können, ermöglicht es das erfindungsgemäße Sicht-Selektorsystem 10 dem Benutzer, die segmentierten Bereiche des Volumen darstellenden Bildes, wie zum Beispiel ein Segment 102 des Bildes 88 in Fig. 5, zu wählen und dann den segmentierten Bereichen verschiedene Farben zuzuordnen. Demgemäß können in verschiedener Weise erzeugte Voxel mit den gleichen Intensitätswerten mit verschiedenen Farben dargestellt werden, was mit bekannten Bildverfahren nicht möglich ist.

Das Sicht-Selektorsystem 10 kann auch mit zwei anderen bekannten Arten von Volumendarstellungen verwendet werden, nämlich der maximalen Intensitätsprojektion (MIP oder MaxIP) und der minimalen Intensitätsprojektion (MinIP), und zwar mit geeigneten Änderungen an dem Grenz/Sichtselektor. Solche Modifikationen ermöglichen es dem Benutzer, das Verfahren der Volumendarstellung, wie zum Beispiel blind, MaxIP, MinIP, usw. zusammen mit wählbaren und einstellbaren Parametern/Transferfunktionen zu wählen. Solche Benutzervorgaben bestimmen eine Formel, die zur Spezifizierung der Grenzstelle (Randstelle) zu verwenden ist.

Bei alternativen Ausführungsformen kann der Benutzer Flächenmodelle verwenden, um Flächen in einem Volumen darstellenden Bild aufzunehmen, so daß die Abb. 72 in Fig. 4 Flächen anstelle des Strahls 86 verwendet, und/oder der Benutzer manipuliert Linien von Voxeln anstelle eines aufgenommenen Punktes wie zum Beispiel des Punktes 82. Bei einer anderen alternativen Ausführungsform kann das Sicht-Selektorsystem 10 zum Steuern eines Endoskops zur Vermeidung einer Kollision Grenzen mit entsprechenden Kraft-Antwortfaktoren bestimmen, so daß eine erfaßte Grenze mit einer Kolon-Wand korrespondieren kann, und so auf ein entfernt manipuliertes Endoskop eine Kraft zur Vermeidung einer Kollision ausgeübt wird, wenn das in den Fenstern 48 bis 52 angezeigte simulierte Endoskop eine Volumen darstellende Grenze berührt oder einen vorbestimmten Abstand von der Grenze unterschreitet, der durch die oben beschriebenen Kriterien für die Grenzbedingung bestimmt wird. Da außerdem das Kolon ein Körpergefäß ist, das sich dreht und biegt, können einige der Volumen darstellenden Punkte um eine Biegung liegen, obwohl sie innerhalb eines vorbestimmten Abstandes liegen, wobei solche Voxel "um die

Biegung" keine berücksichtigten Grenzen sind, das heißt solche Voxel sind nicht sichtbar und üben auf das Endoskop keine eine Kollision vermeidende Kraft aus. Demgemäß können die eine Kollision vermeidenden Kräfte für Grenzen gewichtet oder ausgeblendet werden, die nicht ausreichend nahe an dem Endoskop liegen, so daß nicht alle Grenzpunkte einen Beitrag zu der auf das Endoskop angewandten, eine Kollision vermeidenden Kraft leisten.

Mit dieser Beschreibung ist ein neues und erfinderisches Sicht-Selektorsystem 10 und ein Verfahren anhand von bevorzugten Ausführungsformen beschrieben worden. Es sind jedoch zahlreiche Modifikationen und Änderungen möglich, ohne von dem Gegenstand der Erfindung abzuweichen. Während zum Beispiel mit der bevorzugten Ausführungsform ein 3D Bildsystem erläutert wird, gehören auch mehrdimensionale Bilder und Volumendarstellungen mit einer Segmentation in der oben beschriebenen Weise zu der Erfindung. Die Beschreibung erfolgte somit nur beispielhaft und soll keine Beschränkung beinhalten.

Patentansprüche

1. Dreidimensionales (3D) bilderzeugendes System mit:
einem Prozessor zum Erzeugen eines Volumen darstellenden 3D Bildes auf einem Display unter Anwendung einer Mehrzahl von Voxeln aus einem 3D Bilddatensatz; und
einem Sichtselektor, der auf Benutzereingaben anspricht, zum Bestimmen eines ersten Satzes von Voxeln, die mit einer Grenze in dem Volumen darstellenden 3D Bild korrespondieren, unter Anwendung eines vorbestimmten, grenzspezifizierenden Kriteriums, das auf eine Grenzfunktion der Opazität der Mehrzahl von Voxeln angewendet wird.
2. 3D Bildsystem nach Anspruch 1, bei dem der auf den ersten Satz und eine Benutzer-Funktionsauswahl ansprechende Prozessor die gewählte Funktion ausführt, um das Volumen darstellende 3D Bild relativ zu den erfaßten Grenzen zu modifizieren.
3. 3D Bildsystem nach Anspruch 2, bei dem die gewählte Funktion eine Displayfunktion ist, wobei der Prozessor einen Weg auf dem Display zwischen einer Mehrzahl von gewählten Punkten in dem Volumen darstellenden 3D Bild erzeugt und anzeigt.
4. 3D Bildsystem nach Anspruch 2, bei dem die gewählte Funktion eine Meßfunktion ist, wobei der Prozessor einen Meßwert bestimmt, der mit einer Mehrzahl von in dem Volumen darstellenden 3D Bild gewählten Punkten verbunden ist.
5. 3D Bildsystem nach Anspruch 2, bei dem die gewählte Funktion eine Segmentierungsfunktion ist.
6. 3D Bildsystem nach Anspruch 5, bei dem die Segmentierungsfunktion durch den Prozessor ausgeführt wird, indem ein segmentiertes Bild aus dem Volumen darstellenden 3D Bild erzeugt wird, das durch mindestens einen gewählten Punkt als Kristallisationspunkt in dem Volumen darstellenden 3D Bild bestimmt wird.
7. 3D Bildsystem nach Anspruch 5, bei dem die Segmentierungsfunktion durch den Prozessor ausgeführt wird, indem aus dem gesamten, Volumen darstellenden 3D Bild, das ein gegenwärtig auf dem Display wiedergegebenes einzelnes Organ darstellt, ein segmentiertes Bild erzeugt wird.
8. 3D Bildsystem nach Anspruch 5, bei dem die Segmentierungsfunktion durch den Prozessor ausgeführt wird, indem als Antwort auf eine durch den Benutzer vorgenommene Auswahl des gesamten, Volumen dar-

stellenden 3D Bildes für die Segmentation ein segmentiertes Bild erzeugt wird.

9. 3D Bildsystem nach Anspruch 1, bei dem der Sichtselektor die Grenze von Voxeln bestimmt, die Opazitäten aufweisen, die größer sind als ein vorbestimmter Schwellwert.

10. 3D Bildsystem nach Anspruch 1, bei dem der Sichtselektor die Grenze von Voxeln bestimmt, die einen Gradient der Opazitäten aufweisen, der größer ist als ein vorbestimmter Schwellwert.

11. 3D Bildsystem nach Anspruch 1, bei dem der Sichtselektor die Grenze von Voxeln bestimmt, die einen größten Beitrag zu einer Gesamtintensität leisten, die eine Funktion der Opazitäten der Voxel ist.

12. 3D Bildsystem nach Anspruch 1, bei dem der Sichtselektor die Grenze von Voxeln bestimmt, die entsprechende Beiträge aufweisen, die größer als ein vorbestimmter Schwellwert sind, wobei diese Beiträge einen Beitrag zu einer Gesamtintensität leisten, die eine Funktion der Opazitäten der Voxel ist.

13. 3D Bildsystem nach Anspruch 1, bei dem der Sichtselektor die Grenze von Voxeln bestimmt, die eine Summe von Opazitäten aufweisen, die größer ist als ein vorbestimmter Schwellwert.

14. Dreidimensionales (3D) bilderzeugendes System mit:

einem Prozessor zum Erzeugen eines Volumen darstellenden 3D Bildes auf einem Display unter Verwendung einer Mehrzahl von Voxeln aus einem 3D Bilddatensatz; und

einem Sichtselektor, der auf Benutzereingaben anspricht, zum Bestimmen eines ersten Satzes von Voxeln, die mit einer Grenze in dem Volumen darstellenden 3D Bild korrespondieren, unter Verwendung eines vorbestimmten grenzspezifizierenden Kriteriums, das einen vorbestimmten Schwellwert mit einer Grenzfunktion von Opazitäten der Mehrzahl von Voxeln vergleicht, um die Grenze zu bestimmen.

15. 3D Bildsystem nach Anspruch 14, bei dem der Sichtselektor die Grenze unter Verwendung eines grenzspezifischen Kriteriums bestimmt, das einen vorbestimmten Schwellwert mit einer Grenzfunktion von Opazitäten und den Intensitäten der Mehrzahl von Voxeln vergleicht.

16. Verfahren zum Bestimmen einer Grenze in einem Volumen darstellenden, dreidimensionalen (3D) Bild mit folgenden Schritten:

Erzeugen eines Volumen darstellenden 3D Bildes auf einem Display aus einer Mehrzahl von Voxeln aus einem 3D Bilddatensatz unter Anwendung eines Prozessors;

Empfangen von Voxelwerten und korrespondierenden Opazitätswerten der Mehrzahl von Voxeln; und Bestimmen eines ersten Satzes von Voxeln, die mit einer Grenze in dem Volumen darstellenden 3D Bild korrespondieren, unter Verwendung eines vorbestimmten grenzspezifizierenden Kriteriums, das auf eine Grenzfunktion der Opazität der Mehrzahl von Voxeln angewendet wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem eine Funktion ausgeführt wird, die durch einen Benutzer unter Anwendung der vorbestimmten Grenze ausgewählt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem der Schritt der Ausführung der gewählten Funktion folgenden Schritt umfaßt: Ausführen einer Anzeigefunktion, wobei der Prozessor einen Weg auf dem Display zwischen einer Mehrzahl von in dem Volumen darstellenden 3D

Bild gewählten Punkten unter Anwendung der bestimmten Grenze erzeugt und anzeigt.

19. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem der Schritt der Ausführung der gewählten Funktion folgenden Schritt umfaßt: Ausführen einer Meßfunktion, wobei der Prozessor einen Meßwert bestimmt, der mit einer Mehrzahl von in dem Volumen darstellenden 3D Bild gewählten Punkten verbunden ist, unter Anwendung der bestimmten Grenze.

20. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem der Schritt der Ausführung der gewählten Funktion folgenden Schritt umfaßt: Ausführen einer Segmentierungsfunktion an dem Volumen darstellenden 3D Bild.

21. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem der Schritt der Ausführung der gewählten Funktion folgenden Schritt umfaßt: Ausführen einer Registrierungsfunktion an einer Mehrzahl von Volumen darstellenden 3D Bildern, die mit einer Mehrzahl von Datensätzen korrespondieren.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1

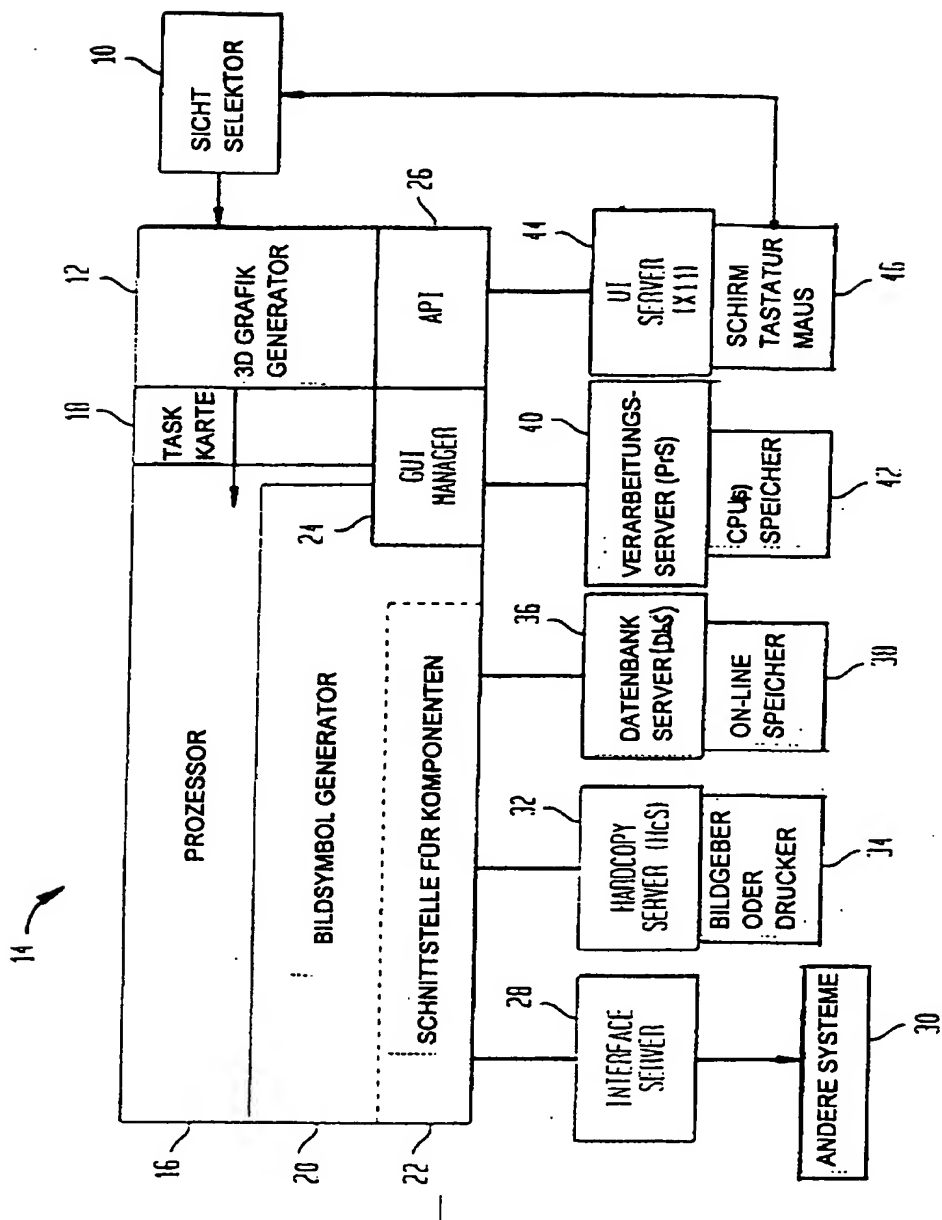


FIG. 2

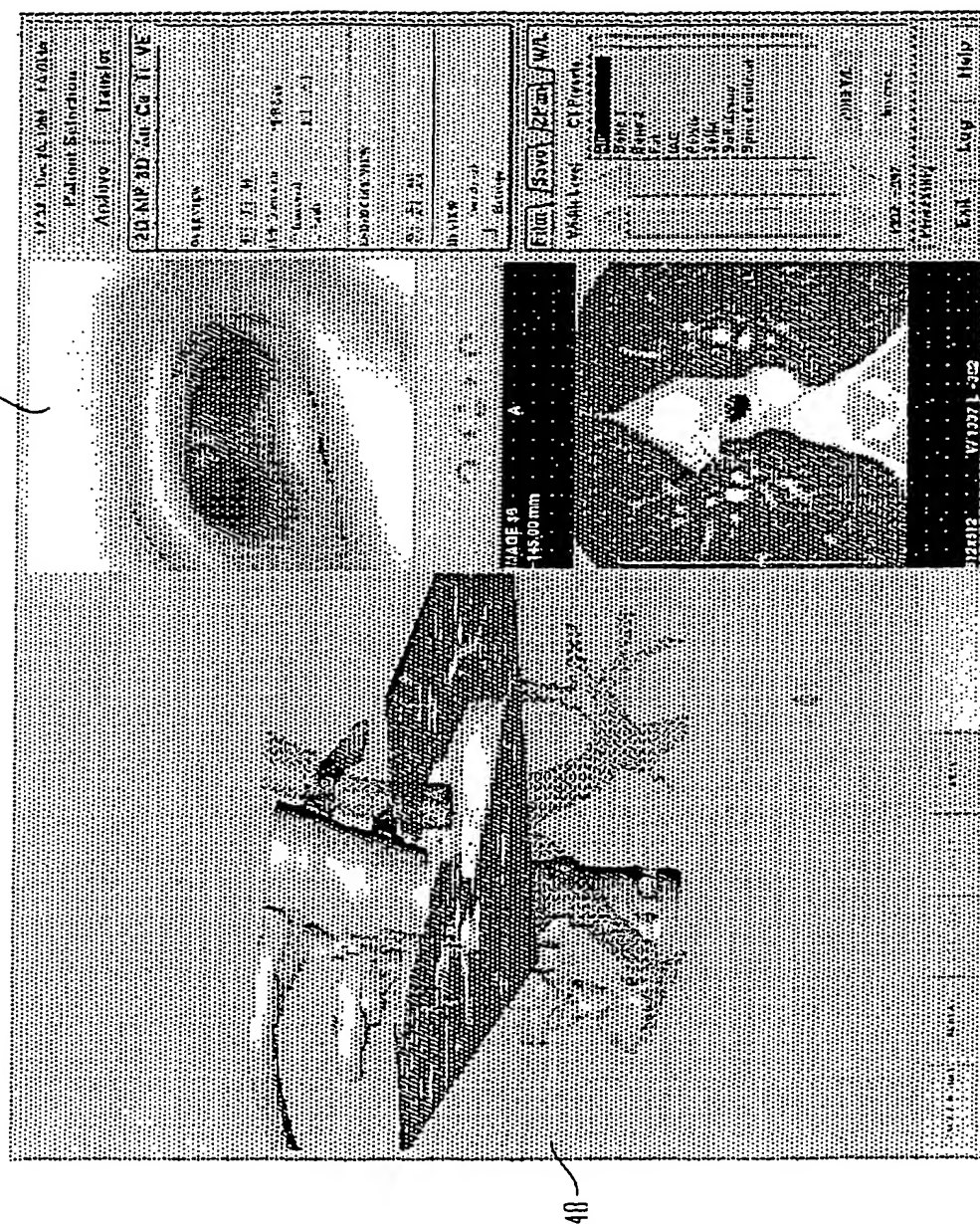


FIG. 3

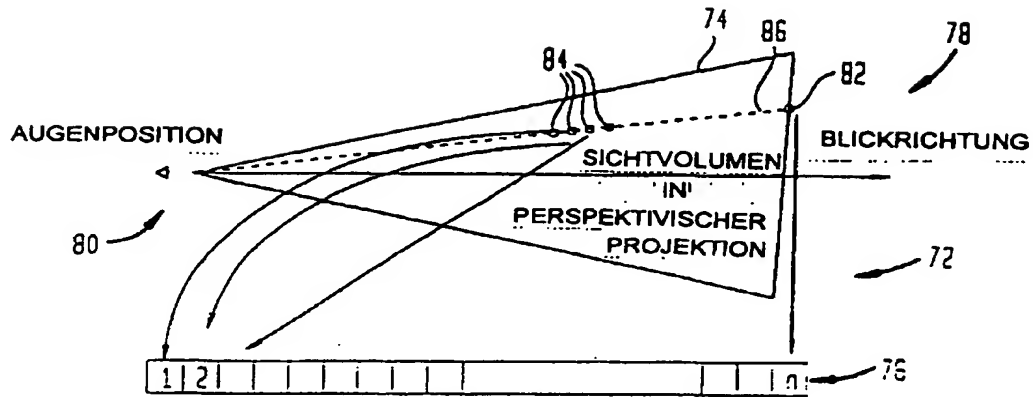


FIG. 4

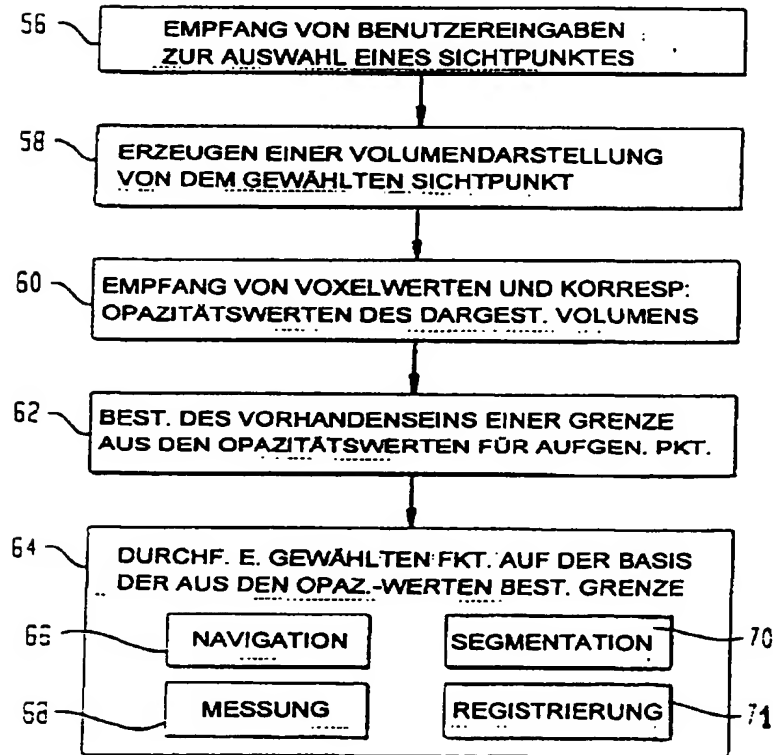
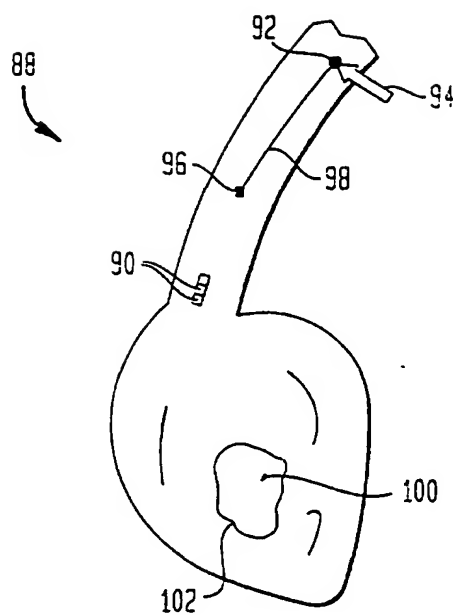


FIG. 5



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.